

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-94783

(43) 公開日 平成9年(1997)4月8日

(51) Int.Cl. ^a	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所	
B 2 5 J	13/00		B 2 5 J	13/00	Z
	9/06			9/06	A
	19/06			19/06	

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-253008

(22) 出願日 平成7年(1995)9月29日

(71) 出願人 390029160

株式会社テスコン

神奈川県相模原市田名3371番地28

(72) 発明者 牧野 洋

山梨県甲府市武田4丁目3の11 山梨大学

工学部機械システム工学科内

(72) 発明者 寺田 英嗣

山梨県甲府市武田4丁目3の11 山梨大学

工学部機械システム工学科内

(72) 発明者 金子 智

山梨県甲府市武田4丁目3の11 山梨大学

工学部機械システム工学科内

(74) 代理人 弁理士 佐々木 功 (外1名)

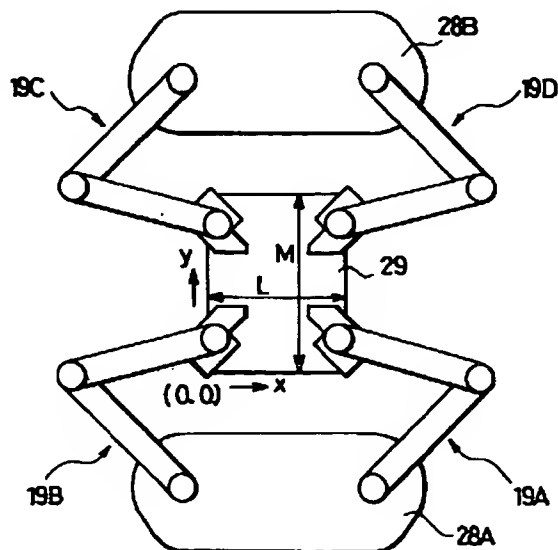
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチロボットシステム

(57) 【要約】

【課題】 複数のロボットがお互いの衝突を回避しながら動作するマルチロボットシステムを提供する。

【解決手段】 各ロボットに予め動作位置を割り付け、その動作位置を中心としてロボット毎にロボット占有象限を定義し、そのロボット占有象限に基づいて、ロボット同士の衝突を検出することにより、衝突を回避する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定作業領域内において、該作業領域と一定距離を維持した水平動作を行うアームと、該アームの先端にアームの水平動作に対して垂直動作を行う作業用ヘッドとを備えた少なくとも2台のロボットからなり、前記各ロボットは、現在位置及び動作位置を中心として前記アームと作業用ヘッドを含むロボット占有象限を決定し、該ロボット占有象限に基づいて各ロボットの衝突状態の判断を行うようにしたことを特徴とするマルチロボットシステム。

【請求項2】 前記衝突状態の判断は、各ロボットの移動前に前記ロボット占有象限に基づいて衝突の可能性を判定することにより行うことを特徴とする請求項1に記載のマルチロボットシステム。

【請求項3】 前記ロボットの衝突状態の判断は、前記ロボット占有象限が重なった場合を衝突状態とみなしたことを特徴とする請求項1又は2に記載のマルチロボットシステム。

【請求項4】 前記ロボットの衝突状態の判断は、前記ロボット占有象限が重ならない場合に一方のロボットの現在位置と動作位置とを結ぶ直線上に他方のロボット占有象限が存在する場合は衝突状態とみなしたことを特徴とする請求項1、2又は3に記載のマルチロボットシステム。

【請求項5】 前記ロボット占有象限は、象限角度の総和が360度となるように割り当てるようにしたことを特徴とする請求項1、2、3又は4に記載のマルチロボットシステム。

【請求項6】 前記ロボット占有象限は、作業用ヘッドを頂点とし、360度をロボットの台数で割った角度を象限角度として割り当てるようにしたことを特徴とする請求項5に記載のマルチロボットシステム。

【請求項7】 前記象限角度の割り当ては、前記アームの位置に基づいて適宜変更できるようにしたことを特徴とする請求項5又は6に記載のマルチロボットシステム。

【請求項8】 前記2台のロボットを一对とし、該一对としたロボットを対向させて配置したことを特徴とする請求項1に記載のマルチロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、プリント基板の検査、プリント基板上への部品の装着、電子装置の組立等に使用されるロボットに関するもので、特に、複数のロボットを同期制御するロボットシステムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来は、複数のロボットが同時に一定領域内を動作する場合は、例えば、特願平6-16252号公報に開示されているような方法によって、ロボット

同士の衝突を防止している。

【0003】 即ち、図16及び図17に示すように、基台部50に設けた一对のアームを基本構造とした水平多関節ロボットであり、その構造は基台部50と一对のアーム51A、51Bと作業用ヘッド52A、52Bと制御部53とからなる。

【0004】 基台部50は、一对のアーム51A、51Bの基軸となるものであり、第1回動モータ54A、54Bとギヤボックス55A、55Bとから構成されている。

【0005】 アーム51A、51Bは、基台部50を基軸として水平方向に回動自在に連結した第1アーム56A、56Bと、この第1アーム56A、56Bを介して水平方向に回動自在な第2アーム57A、57Bとから構成されている。

【0006】 作業用ヘッド52A、52Bは、第2アーム57A、57Bの先端に設けてあり、第2アーム57A、57Bに対して下側に垂直方向に延設された回転軸58A、58Bに係合係止され、先端部に先端ピン59A、59Bを設けた構造となっている。

【0007】 ここで、先端ピン59A、59Bは、回転軸58A、58Bに対して軸心をずらして配設されており、被対象物上において回転軸58A、58Bが回転すると、先端ピン59A、59Bの先端は円の軌跡を描く構造となっている。

【0008】 このようにして、例えば、一对のアーム51A、51Bの先端に設けた作業用ヘッド52A、52Bが向き合った場合には、先端ピン59A、59Bの先端が1点を指す位置が衝突しない距離となっている。

【0009】 このような構造からなる水平多関節ロボットにおける作業用ヘッド52A、52Bの運動軌跡は、第1アーム56A、56B及び第2アーム57A、57Bが水平方向に動きながら第1アーム56A、56B及び第2アーム57A、57Bを回動させて基台部50からの距離を調整する。そして、回転軸58A、58Bによって適宜回転して目的とする位置方向に動くことができる。尚、詳細は上記公報を参照されたい。

【0010】 一方、一对のアーム51A、51B及び51C、51Dからなる多関節ロボットは、図17に示すように、向かい合わせて対向位置に設け、制御部53で各々のアーム51A、51B、51C、51Dの回動量を制御して、各作業用ヘッド52A、52B、52C、52Dが衝突しないようにしたものである。

【0011】 即ち、1つの制御部がロボットの夫々のアームを駆動するモータの回転を制御し、これによって各アームの可動範囲が制限され、一定領域内で動作するアーム同士の衝突が回避されている。

【0012】 又、上記のような方法以外にも、ロボットの衝突を回避する種々の方法が提案されている。

【0013】 例えば、特開昭59-129691号公報

に開示されている方法では、複数のロボット間で重複する同一の作業領域を干渉領域として予め定義しておき、上方に設けた視覚装置から時々刻々送られてくる映像情報によって、干渉領域内にロボットが存在するか否かを判断する。そして、ロボットが存在するときは、他のロボットを干渉領域内に進入させないために、その旨を告げる信号を他のロボットに対して出力する。一方、視覚装置から送られてくる映像情報により、ロボットが干渉領域から退出したことを検出したときは、その旨を示す信号を他のロボットに送出することにより、他のロボットが干渉領域に進入することが可能となる。

【0014】又、特開平4-19084号公報に開示されている方法では、予めロボットの作動領域を決めておき、アームや関節が作動領域内からはみ出ないように制御することにより、衝突を防止している。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、各アームの駆動を直接制御して各作業用ヘッドの衝突を回避する手法では、各アームの作業用ヘッドの先端ピンの衝突まで完全に回避するとすれば、各アームの動作がかなり制限される上に、ロボット同士の衝突、即ち、作業用ヘッドの先端ピン同士の抵触及び衝突を完全に回避することは容易ではなかった。

【0016】又、ロボットの台数が増えるとアームの動作が更に著しく制限され、全てのロボットを効率良く動作させることに限界があった。

【0017】一方、前述の特開昭59-129691公報に開示されている方法では、視覚装置を使用し、画像処理によって干渉領域への進入と退出の検知を行うため、処理が複雑で時間もかかる。又、視覚装置等の多くの設備を必要とし、費用もかかる。

【0018】又、特開平4-19084号公報に開示されている方法によれば、カメラ等の設備が不要となるため、費用は削減できるが、作動領域が前もって決められているため、動作が制限されてしまう。

【0019】従って、少なくとも2個以上のアームからなるロボットの動く部位、例えば、作業用ヘッド同士の衝突を完全に回避し、且つ、全てのロボットを効率良く動作させることに、解決しなければならない課題を有している。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために本発明は、所定作業領域内において該作業領域と一定距離を維持した水平動作を行うアームと、アームの先端にアームの水平動作に対して垂直動作を行う作業用ヘッドとを備えた少なくとも2台のロボットからなり、各ロボットは、現在位置及び動作位置を中心としてアームと作業用ヘッドを含むロボット占有象限を決定し、ロボット占有象限に基づいて各ロボットの衝突状態の判断を行う。

【0021】衝突状態の判断は、各ロボットの移動前にロボット占有象限に基づいて衝突の可能性を判定することにより行い、ロボット占有象限が重なった場合は衝突状態とみなす。又、ロボット占有象限が重ならない場合でも、一方のロボットの現在位置と動作位置とを結ぶ直線上に他方のロボット占有象限が存在する場合は衝突状態とみなす。

【0022】ロボット占有象限は、象限角度の総和が360度となるように割り当てる。又、好ましくは、ロボット占有象限は、作業用ヘッドを頂点とし、360度をロボットの台数で割った角度を象限角度として割り当て、アームの位置に基づいて適宜変更できるようにする。

【0023】又、好ましくは、2台のロボットを一对とし、その一对としたロボットを対向させて配置する。

【0024】ロボット占有象限を決定し、ロボット占有象限に基づいて各ロボットの衝突状態の判断を行うようにしたことにより、衝突判定の速度が向上する。

【0025】又、各ロボットの移動前にロボット占有象限に基づいて衝突の可能性を判定したことにより、ロボットの動作中は衝突を考慮する必要がないため、ロボットの動作速度が向上し、ロボット占有象限が重なった場合は衝突状態とみなし、ロボット占有象限が重ならない場合でも、一方のロボットの現在位置と動作位置とを結ぶ直線上に他方のロボット占有象限が存在する場合は衝突状態とみなしたことにより、ロボット同士の衝突を完全に回避することができる。

【0026】ロボット占有象限は、象限角度の総和が360度となるように割り当てたことにより、ロボット占有象限間での重なりや隙間が生じないため、衝突の判定を正確に行うことができる。又、作業用ヘッドを頂点とし、360度をロボットの台数で割った角度を象限角度として割り当て、アームの位置に基づいて適宜変更できるようにしたことにより、アーム先端の作業用ヘッドの形状、ロボットの台数等の影響を受けずに、ロボット占有象限を定義することができる。

【0027】又、2台のロボットを一对とし、その一对としたロボットを対向させて配置したことにより、基本的には、1つの象限角度は360度の4分の1になるので、ロボット占有象限同士の重なり及び一方のロボットの現在位置と動作位置とを結ぶ直線上に他方のロボット占有象限が存在するか否かの判定を容易に行うことができる。

【0028】

【発明の実施の形態】次に、本発明に係るマルチロボットシステムについて、図を参照しながら以下の順に説明する。

1. マルチロボットシステム概要

2. 衝突回避アルゴリズム

3. ロボット占有象限を用いた衝突の判定

4. 入れ替わりと回り込みの防止

5. 第2関節(第2アーム)の張り出しによる象限の変形

6. マルチロボットシステム詳細

【0029】1. マルチロボットシステム概要

多関節ロボットは、基台上に一对のアームを水平方向であるX-Y軸方向に制御可能なように配置し、各アームの先端にはアームの水平方向に対して垂直方向であるZ軸方向に制御可能な先端ヘッドである作業用ヘッドを取り付けた構造となっている。詳細は従来技術で示した同一出願人の特願平6-16252号公報を参照されたい。

【0030】本発明における好適な実施形態は、このような構造からなるロボットを4台、即ち、基本的には4台のSCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm)ロボットを同期制御し、1つの作業域で動作させることであり、これにより、多種用途への対応を目指したシステムを構築している。特に、複数のロボットの軌道と動作範囲の衝突を回避することが最も重要であり、以下、与えられた動作位置(以下、与点と記す)を、ロボットが衝突しないように夫々割り付けることで衝突回避を行うアルゴリズムを説明し、その諸条件についても説明する。

【0031】前述したように、本実施形態においては、図1に示すように右手系と左手系の2台のSCARAロボット19A、19B及び19C、19Dを一对としたロボットを2台用いたシステムを対象としており、その作業域29は、横L(実施例においては250mm)、縦M(実施例においては330mm)であり、作業域29をx軸及びy軸で表した場合の作業域原点(0,0)は、左手系ロボット19Bの先端側になる。

【0032】夫々のロボットを形成するアームの長さは、図2に示すように、第1アーム20Aの長さはP(実施例においては280mm)、第2アーム23Aの長さはQ(実施例においては270mm)となっている。そして、第2アーム23Aの先端に備えてあるツールである作業用ヘッド24Aが作業域29内で動作する各ロボットの座標軸に対して常に α 度(実施例においては45度)の角度を保つように第1アーム20A及び第2アーム23Aは平行リンク構造となっている。

【0033】又、第2アーム23Aの先端に取り付けられる作業用ヘッド24Aの取り付け軸から先端までの長さはR(実施例においては80mm)となっている。

【0034】作業用ヘッド24Aは、図3に示すように、従来技術と同様の構造であり、第2アーム23Aの先端に設けた回転軸21Aに取り付けられている駆動部22Aと、駆動部22Aの先端に設けた先端ピン33Aと、先端ピン33Aの状態を監視するカメラ及びライト部34Aから概略構成されている。

【0035】駆動部22Aは、回転軸21Aに対して略

15度傾斜を持たせて取り付けられており、従って、駆動部22Aの先端に取り付けられている先端ピン33Aも、当然に傾斜した状態となっており、丁度ミシンの針のようなZ軸運動、即ち、上下運動を繰り返すことができる構造となっている。

【0036】ここで、プリント基板の検査には、少なくとも上記構造をした作業用ヘッド、即ち、探針用ヘッドが4個必要であり、夫々は自由自在に動くようになっている。もし、図4に示すように、4個の探針用ヘッドが同一点(図2においてD点)を指示したときは、最悪の状態であり、衝突を起こす状態である。しかし、図3に示すように、先端ピンは傾斜しており、クリアランスWがあるので、探針ヘッドが上に位置しているときは、先端ピン同士が衝突することはない。従って、この状態で指示点を原点として4象限に分け、各ロボットが夫々の象限内に納まっていれば、この4つのロボットは干渉し合わないと判定する。尚、この衝突防止を各象限に分けて判定する手法については詳細に後述する。

【0037】ここではプリント基板の検査について説明したが、これに限定されることなく、例えば、作業用ヘッドを工夫することにより、プリント基板への微小部品の装着、電子装置の組立、微少な箱詰め等に応用できることは勿論のことである。

【0038】次に、上記構成からなる各ロボット19A、19B、19C、19Dにおける動作について説明する。各ロボット19A、19B、19C、19Dの動作は直線運動であり、所謂カム曲線を運動曲線として用いることにより加減速を行うようになっている。ここで、カム曲線を運動曲線として用いることは周知のことであるが、例えば、図5に示すように、第1のロボットと第2のロボットが存在する場合に、夫々1a点、2a点から1b点、2b点に移動が指示されたときに、元の2点(1a点、2a点)を同時に出発し、1b点、2b点に同時に到着する。このときの運動曲線がカム曲線を描くように制御されるという意味であり、具体的には第1のロボットは元の1a点から時間tまでは徐々に加速され、時間tの経過後は更に加速が加えられ、目的の1b点近くになると減速して到着する。これに対し、第2のロボットは元の2a点から目的とする2b点まで略同じ速度で移動する。

【0039】2. 衝突回避アルゴリズム

上記説明した4つのロボットの夫々に与える象限に対しては、先ず、各ロボットに与えられた4点の動作位置(与点)を4台のロボットに割り付けるための24通り(4の階乗)の組み合わせ全てに対し、①各ロボットが得た象限の重なり判定、②入れ替わりと回り込みによる軌跡衝突判定、及び、③ロボットの第2関節張り出しによる衝突判定、を行う。

【0040】更に、全ての判定をクリアした組み合わせ中、④4台のロボットの移動軌跡の最大値が最も小さい

組み合わせを、動作すべき点として実際に各ロボットに割り付ける。尚、上記①、②、③、④については詳細に後述する。

【0041】又、与点が4個でない場合、即ち、4台のロボットに対して指示されたロボットが4台でない場合には、以下のように与点を割り付ける。例えば、与点が3個の場合の割り付けの組み合わせは、下記の表1に示*

*すように、24通りある。これらの組み合わせの中から、ロボットの衝突がなく、且つ、最短距離で移動できる組み合わせを求めて与点を割り付ける。この結果、与点が割り付けられなかったロボットは、現在位置のまま動作させない。

【0042】

【表1】

組み合わせ番号	与点		
	A	B	C
1	1	2	3
2	1	2	4
3	1	3	2
4	1	3	4
5	1	4	2
6	1	4	3
7	2	1	3
8	2	1	4
9	2	3	1
10	2	3	4
11	2	4	1
12	2	4	3
13	3	1	2
14	3	1	4
15	3	2	1
16	3	2	4
17	3	4	1
18	3	4	2
19	4	1	2
20	4	1	3
21	4	2	1
22	4	2	3
23	4	3	1
24	4	3	2

【0043】3. ロボット占有象限を用いた衝突の判定
 ロボットをスケルトンモデルで考え、各要素をベクトルで置き換えた場合には、ベクトルが重なったとき衝突していると考えることができるが、部品の大きさを考えていないことになる。ここで、スケルトンモデルとは、アームをベクトルで表したものであるが、実際にはロボットは体積を持っているので、近似的に説明するためのものである。従って、少なくともスケルトンモデルで表して衝突していれば、明らかに衝突状態にあるということ

【0044】又、今回用いたロボットにはツール姿勢制御用や第2アーム動作用のリンクが付けられているため、これらを全てベクトルにする、若しくはベクトルで囲むと、衝突判断だけに変な時間が費やされることになる。そこで、作業用ヘッドを頂点とし、ロボットが存在する領域を90度で向き合う2直線（象限）で囲む。すると、ロボットのパーツが全てこの象限に入ることになる。即ち、この象限がロボット占有象限である。

【0045】この状態ではロボット占有象限が重なった※50

※場合に衝突の可能性が非常に大きい。このため、衝突を回避するにはロボット占有象限が重ならないように与点を割り付けなければならない。この考え方は、アームを構成するリンクの有無や作業用ヘッドの変形の影響を受けにくく、ロボットの衝突判定の速度も飛躍的に向上する。

【0046】4台のロボットのロボット占有象限を足すと360度になる。これは、各ロボット占有象限の間に重なりや隙間が生じないようにするためであり、ロボットの台数が増えた場合でも象限角度の総和が360度となるようにする。又、作業用ヘッドやアームのリンク形状により象限の変形を余儀なくされたとしても、象限角度の総和が360度になるようにすればロボット占有象限として扱える。尚、マルチロボットシステムに適用した具体的なロボット占有象限については後述する。

【0047】4. 入れ替わりと回り込みの防止
 前述した象限判定だけでは、与点の位置関係が同等でも、図6（A）及び（B）に示すように、割り付けられるロボットが異なる組み合わせが、何種類か存在するこ

となる。しかし、図7の例においては、図7(A)から図7(B)の状態へ動作(逆の場合も同様)した場合、静止時にロボット占有象限の重なりがなくても、動作途中での衝突を引き起こす可能性が出てくる。これは、図8に示すように、一方のロボット(図8において象限3)が他方のロボット占有象限(図8において象限1)を横切る形になっているからである。そこで、現在の状態と割り付けられた状態を比較し、一方のロボット(象限3)が他方のロボット(象限1)の回りを180度以上回っていた場合を衝突の可能性があるととして除き、衝突を防止する。このような現象は、対角線上に位置するロボットに対してしか起こり得ない。

【0048】5. 第2関節(第2アーム)の張り出しによる象限の変形

本実施例で用いたようなSCARAロボットの場合、図9に示すように、第2関節が、前述したロボット占有象限(図9においてA)からはみ出してしまう場合がある。そこで、第2関節が出るかどうかを第2アームの角度(図9において θ)で判断し、出ていた場合は、第2アームの角度を象限として設定すればよい(図9においてA')。ここで、前記したように4台のロボット占有象限を足して360度になることから、正面に位置するロボットが第2関節より手前に来た場合、そのロボット占有象限も変更する必要があることに注意しなければならない。一方、第2関節より奥にある場合は通常のロボット占有象限を使用する。

【0049】6. マルチロボットシステム詳細

衝突回避アルゴリズムを採用した本マルチロボットシステム1は、少なくとも2個以上のアームによる作業を行う際の衝突を回避するシステムであり、実施の形態においては、一対のアームからなる多関節ロボットを向かい合わせて対向配置したものを参考にして説明する。

【0050】この多関節ロボットは、図16に示した従来技術のロボットと基本的な構成及び動きは同じであり、図10に示すように、入力部2、制御部3、機構部4とから構成されている。

【0051】入力部2は、ロボットの動作位置等を制御部3に対して指示するものであり、キーボード等から入力する構成になっている。

【0052】制御部3は、図11に示すように、ロボットのアームの動作を制御するもので、入力部2からの指示によりロボットの動作位置(与点)を各ロボットに割り付ける与点割り付け手段である与点割り付け部5と、ロボットのアームに関する情報を読み取る読み取り手段である読み取り部6と、各ロボットが存在する可能性のある範囲(ロボット占有象限7、8、9、10)を定義する象限定義手段であるロボット占有象限定義部11と、ロボットの衝突の可能性を判定する衝突判定手段である衝突判定部13と、各ロボットの移動距離を計算する移動距離計算手段である移動距離計算部15と、与点の割り

付けを最終的に決定する組み合わせ決定手段、及び、その決定した割り付けを記憶する記憶手段である組み合わせ決定及び記憶部16と、制御部3と機構部4との間でデータ及び信号の入出力を行うI/Oインターフェース18と、4台のロボットを駆動するサーボコントローラ25A、25B、25C、25Dを備えている。

【0053】与点割り付け部5は、入力部3から与えられた複数の与点を4台のロボット19A、19B、19C、19Dにどのように割り当てるかにあたって、全ての組み合わせにおいて与点の割り付けを試みるものである。

【0054】読み取り部6は、ロボット19A、19B、19C、19Dの第2アーム23の角度等を読み取り、その読み取ったデータを、ロボット占有象限定義部11に提供するものである。

【0055】ロボット占有象限定義部11は、与点割り付け部5が割り付けた与点を中心として各ロボット19、19A、19C、19Dのロボット占有象限7、8、9、10を定義するものである。

【0056】衝突判定部13は、ロボット占有象限定義部11によって定義した4つのロボット占有象限7、8、9、10に基づいて、ロボットの衝突の可能性を判断するものである。

【0057】移動距離計算部15は、各ロボット19A、19B、19C、19Dの作業用ヘッド24A、24B、24C、24Dが現在位置から与点に移動した場合の作業用ヘッド24A、24B、24C、24Dの移動距離を計算する。

【0058】組み合わせ決定及び記憶部16は、移動距離計算部15による計算結果を元にして最終的な与点の割り付けの組み合わせを決定し、その組み合わせを記憶するものである。

【0059】I/Oインターフェース18は、制御部3が機構部4からロボットのアームに関する情報を入力するときや、機構部4に対して指示を出力するときのインターフェースになるもので、例えば、複数のI/Oポートを備えたI/Oインターフェースボード等から構成される。

【0060】サーボコントローラ25A、25B、25C、25Dは、各ロボット19A、19B、19C、19Dを駆動するものである。

【0061】機構部4は、右手系ロボット19A及び左手系ロボット19Bを一対としたロボットと、同様に、右手系ロボット19C及び左手系ロボット19Dを一対としたロボットとを備えている。ロボットの構造については、従来技術及び特願平6-16252号公報を参照されたい。

【0062】このような構成からなるマルチロボットシステム1が、お互いの衝突を回避しながら動作する場合について、図を参照しながら以下詳細に説明する。

【0063】最初に、ロボット19A、19B、19

11

C、19Dは、夫々図12のような初期状態を保っている。ここで、入力部2から、ロボット19A、19B、19C、19Dが夫々次にどこへ移動すべきかという最大4個の動作位置(与点)が指示されると、制御部3の与点割付部5は、与えられた4個の与点を4台のロボット19A、19B、19C、19Dに割り付ける(ステップST1、ST2)。

【0064】最終的に与点をどのようにロボットに割り付けるかは直ちに決まるものではなく、与点の数及びロボットの台数によって、何通りもの割り付けの組み合わせが存在するため、この中から最適な組み合わせを1つ選択する必要がある。ここでは、与点が4個、ロボットが4台であるので、割り付け方は、 $4 \times 3 \times 2 = 24$

【通り】あることになる。従って、24通りの全ての組み合わせに対して与点の割り付けを試み、この中から最適な組み合わせを1つ決定し、その割り付けにおいてロボットを駆動することとしている。

【0065】ここでいう最適な組み合わせとは、ロボット同士が衝突することなく、且つ、4台のロボットの移動が最も早く終了する組み合わせのことをいい、衝突判定部13、移動距離計算部15、組み合わせ決定及び記憶部16によって決定する。

【0066】尚、ロボットが4台であっても、与点が4個未満の場合もあり、この場合は与点が割り付けられないロボットが存在することになる。しかし、このような場合でも、原則として24通り全ての組み合わせに対して割り付けを行い、特に、与点が2個の場合は、4個の場合の組み合わせを、1つおきに2個の場合の組み合わせになるような順番に配置すれば、図13のフローチャートに示すように、効率的に与点を割り付けていくことができる(ステップST11、ST12)。

【0067】次に、前述のように、与点を割り付けた各組み合わせ毎に、ロボット占有象限定義部11によって、図12に示すように、各与点を頂点としてここから90度で向き合う2直線を引く。ここでできるこの2直線で囲まれた領域をロボット占有象限と呼ぶ。このロボット占有象限は各与点毎にできるので、1つの組み合わせにつき4個のロボット占有象限7、8、9、10ができる(ステップST2)。

【0068】各ロボット占有象限の中心角度(象限角度)は90度であるため、4個のロボットの象限角度を足すと360度になる。これは、各象限間に重なりや隙間が生じないようにするためであり、ロボットの台数が増加又は減少した場合でも、象限角度の総和が360度となるようにすればよい。

【0069】但し、図9に示すように、ロボットの第2関節26が張り出してしまう場合もある。このような場合でも、読み取り部6によって角度を読み取り、ロボット占有象限を再定義することにより、衝突の回避は可能である(ステップST3、ST9)。

12

【0070】ロボット占有象限7、8、9、10の定義後は、衝突判定部13によって、ロボット占有象限同士が重なるか否かを判断する。

【0071】与点は、割り付けたロボットの第2アーム先端に設けた作業用ヘッド24A、24B、24C、24Dの位置であるため、基台28A、28B以外のロボットのパーツは、全てそのロボットのロボット占有象限内に入ると考えることができる。従って、ロボット占有象限が重なった場合は衝突の危険性が高く、一方、ロボット占有象限が重ならない場合は衝突の可能性はないと判定することができるわけである。

【0072】尚、衝突とは、ロボット同士が移動先において衝突すること及び移動の途中において衝突することの双方を意味している。従って、本発明に係るマルチロボットシステム1においては、これら2種類の衝突の夫々に対して、衝突を回避する手段を設けている。

【0073】ロボット同士が移動先において衝突することを回避するために、制御部3に衝突判定部13を設けている。この象限重複判定部13は、ロボット占有象限定義部11が定義したロボット占有象限7、8、9、10について、4個のロボット占有象限のうち、任意のロボット占有象限同士が重なっているか否かを判定し、重なっているときは、衝突の可能性が高いと判断し、不適切な与点の割り付けとする。

【0074】尚、象限が重なっているか否かの判定は、具体的には例えば、以下の方法によって行う。

【0075】図12に示すように、ロボットの作業域29は、ロボット19Bの第2アーム23の先端を原点とする座標によって一定範囲内に限定されており、与点も座標で表現することができる。従って、ロボット占有象限同士が重なるか否かについても、与点の座標に基づいて判断することができる。

【0076】各ロボット占有象限7、8、9、10には1から4までの番号をつけ、夫々第1ロボット占有象限、第2ロボット占有象限、第3ロボット占有象限、第4ロボット占有象限と呼び、第1ロボット占有象限の頂点の座標を(x1、y1)、第2ロボット占有象限の頂点の座標を(x2、y2)、第3ロボット占有象限の頂点の座標を(x3、y3)、第4ロボット占有象限の頂点の座標を(x4、y4)とする。

【0077】まず最初に、隣り合う2個のロボット占有象限同士が重なるか否かの判定を行う。第1ロボット占有象限と第2ロボット占有象限について考えると、図14(A)からわかるように、第1ロボット占有象限と第2ロボット占有象限が重なるのは(x1<x2)のときである。従って、x1、x2を比較し、(x1<x2)の場合は、象限が重なりと判断し、(x1<x2)でないときは衝突の可能性なしと判断する。

【0078】同じように、第2ロボット占有象限と第3ロボット占有象限が重なるのは図14(B)に示すよう

13

に、 $(y_2 > y_3)$ の場合、第3ロボット占有象限と第4ロボット占有象限が重なるのは図14 (C) に示すように、 $(x_3 > x_4)$ の場合、第4ロボット占有象限と第1ロボット占有象限が重なるのは図14 (D) に示すように、 $(y_1 > y_4)$ の場合であるので、これらを基準に夫々重なるか否かを判断する。

【0079】上記の判定により隣り合うロボット占有象限同士が重なった場合には、直ちに判定処理を中止し、不適切な与点の割り付けであるとして、次の組み合わせの判定に移る（ステップST4、ST10、ST13）。

【0080】隣り合う2個のロボット占有象限同士で重なるものがない場合は、次に、対角線上の2個のロボット占有象限が重なるか否かの判定を行う（ステップST4）。

【0081】第1ロボット占有象限と第3ロボット占有象限においては、図15 (A) に示すように、 $(x_1 < x_3)$ 且つ $(y_1 > y_3)$ のとき、第2ロボット占有象限と第4ロボット占有象限においては、図15 (B) に示すように、 $(x_2 > x_4)$ 且つ $(y_2 > y_4)$ のとき

に夫々象限同士が重なる。象限同士が重なった場合は、直ちに判定処理を中止し、不適切な与点割り付けであるとして、次の組み合わせの判定に移る（ステップST10）。

【0082】以上の判定を全てクリアした組み合わせであれば、ロボット同士が移動先において衝突することは回避できることになる。

【0083】一方、衝突判定部13においては、移動の途中において衝突することを回避するために、ロボットの第2アーム23A、23B、23C、23Dの先端に設けた作業用ヘッド24A、24B、24C、24Dが現在の位置から与点に移動した場合に、作業用ヘッド24A、24B、24C、24Dが他のロボット占有象限内を通過することがあるか否かの判定、即ち、ロボットの軌跡が他のロボット占有象限内を通過するか否かの判定を行う。この判定は、上述の象限重複判定をクリアした組み合わせに関してのみ行われる（ステップST5）。

【0084】判定の結果、ロボット占有象限内を通過することがある場合は、軌跡衝突の可能性が高いと判断し、不適切な与点の割り付けとして扱う（ステップST10）。

【0085】ロボットの軌跡が他のロボット占有象限内を通過するか否かの判断は、具体的には例えば、以下の方法によって行う。

【0086】本発明に係るマルチロボットシステム1で採用されるロボットの動作は直線動作のみであるため、作業用ヘッド24A、24B、24C、24Dが他のロボットの象限内を通過するのは、一方のロボットの軌跡が他方のロボットの作業用ヘッド24A、24B、24

14

C、24Dの回りを回る角度（入れ替わり／回り込み角度30）が180度以上のときに限られる。従って、入れ替わり／回り込み角度が180度を越えたときは、衝突の可能性ありと判断できる。尚、このような現象は、一方のロボットと他方のロボットが対角線上に位置する場合にのみ起こり得るので、その場合に限り判定を行う。

【0087】具体的には、ロボットの現在位置とその対角線上にあるロボット占有象限の頂点を結ぶ直線31及び前記ロボット占有象限の頂点とロボットの与点を結ぶ直線32の夫々の傾きの絶対値を座標から算出し、比較することにより、入れ替わり／回り込み角度30が180度以上かどうかを判定できる。

【0088】例えば図8に示すように、ロボット19Cが第1ロボット占有象限の回りを回る場合においては、第1ロボット占有象限の頂点の座標を (x_1, y_1) 、ロボット19Cの現在位置の座標を (x_3, y_3) 、ロボット19Cの与点の座標を (x_3', y_3') とすると、ロボット19Cの現在位置と第1ロボット占有象限の頂点を結ぶ直線31の傾きは $(y_1 - y_3) / (x_1 - x_3)$ 、第1ロボット占有象限の頂点とロボット3の与点を結ぶ直線32の傾きは $(y_3' - y_1) / (x_3' - x_1)$ により算出できる。従って、これら2つの直線の傾きを比較し、直線31の傾きの絶対値の方が大きければ、ロボット21の軌跡は第1ロボット占有象限の回りを180度以上回ると判定することができる。

【0089】ここで、傾きの絶対値同士を比較するのは、傾きが負の値になることがあるからである。尚、直線31の傾きが正の値、直線32の傾きが負の値をとる場合、若しくは逆に、直線31の傾きが負の値、直線32の傾きが正の値をとる場合については考慮する必要がない。これらの場合は、必ず、対角線上に位置するロボット占有象限同士（図16における第1ロボット占有象限と第3ロボット占有象限）が重なるか、或いは、軌道とロボット占有象限が衝突しないかのどちらかであるからである。従って、両直線の傾きの符号が同一のときのみを考慮すればよい。

【0090】又、図8に示す場合において、ロボット19Cの現在位置と与点の位置関係が逆になったとき、即ち、軌跡の向きが逆になった場合においても、 x_3 と x_3' 、 y_3 と y_3' が逆になるだけであるので、同様の方法により判定することができる。

【0091】同様に、他の3個のロボットについても、同様に2直線の傾きの大小によって、軌跡とロボット占有象限の衝突の可能性を判断することができる。

【0092】このように、軌跡衝突判定をクリアした与点割り付けであれば、ロボット同士が移動の途中において衝突することも回避できる。

【0093】次に、以上説明した象限重複判定及び軌跡衝突判定の双方をクリアした組み合わせについて、制御

15

部3に設けた移動距離計算部15によって、4台のロボットが現在位置から与点に移動するときの移動距離を計算する(ステップST6)。

【0094】前述のように、本ロボットの動作は直線動作のみである。従って、例えば、ロボット1が現在位置(x1、y1)から与点(x1'、y1')に移動するときの移動距離は、下記の数式(1)によって求まる。

【0095】

【数1】

$$\sqrt{(y_1' - y_1)^2 + (x_1' - x_1)^2}$$

【0096】上記の方法により、象限重複判定及び軌跡衝突判定をクリアした全ての組み合わせについて各ロボットの移動距離を求め(ステップST7)、組み合わせ決定及び記憶部16によって最適な割り付けを決定する。この決定に際しては、4台の全てのロボットの移動が最も早く終了する組み合わせを選択する。

【0097】各ロボットは、前述の通り図5に示すようなカム曲線を運動曲線として加減速を行うので、移動距離の最大値が短い組み合わせほど全てのロボットが早く移動を終了するといえる。従って、象限重複判定及び軌跡衝突判定をクリアした組み合わせの中から、4台のロボットのうちの移動距離の最大値が最も小さい組み合わせを選択すれば、その組み合わせは移動時間も最短となる。

【0098】例えば、全ての判定をクリアした組み合わせが、組み合わせ1と組み合わせ2の2種類あり、組み合わせ1の各ロボットの移動距離が(3、4、2、3)、組み合わせ2の各ロボットの移動距離が(2、1、5、1)であった場合には、組み合わせ1の移動距離の最大値は4、組み合わせ2の移動距離の最大値は5であるので、最大値の小さい組み合わせ1を選択する。

【0099】このようにして決定した組み合わせが、前述した最適な組み合わせである。従って、ここで決定した組み合わせにおいて各ロボットに与点を割り付け、ロボットを駆動すれば、ロボット同士が衝突することなく最短の時間で所望の動作を達成できる(ステップST8)。

【0100】又、ここで決定した組み合わせを、組み合わせ決定及び記憶部16により記憶しておくことにより、次の与点割り付け時には、軌跡衝突判定、移動距離の計算を容易に行うことができる。

【0101】以上説明した方法によって繰り返し与点の割り付けを行うことにより、ロボットの連続動作を効率よく制御することができる。

【0102】尚、以上の実施形態においては、4台のロボット夫々について指定された象限角度を有するロボット占有象限を定義する場合について説明したが、この場合のみならず、象限角度の総和が360度になるように

16

すれば、ロボットが何台の場合においても衝突を回避することが可能である。

【0103】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、ロボット占有象限に基づいて衝突状態の判断を行うため、衝突を完全に回避することができ、所望の作業を能率良く行うことができるという優れた効果を奏する。

【0104】又、アームや作業用ヘッドの形状、ロボットの台数等に影響されることがないため、多種用途への対応が可能であるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかるマルチロボットシステムを構成する4台のSCARAロボットの略示的平面図である。

【図2】同マルチロボットシステムを構成する1台のSCARAロボットの平面図である。

【図3】同マルチロボットシステムを構成する1台のSCARAロボットの作業用ヘッドの側面図である。

【図4】同マルチロボットシステムを構成する4台のSCARAロボットの作業用ヘッドが衝突した場合における略示的平面図である。

【図5】同マルチロボットシステムを構成するSCARAロボットの運動曲線を示す説明図である。

【図6】同マルチロボットシステムにおける与点の割り付け方の一例を示す説明図である。

【図7】同マルチロボットシステムにおけるロボットの移動の一例を示す説明図である。

【図8】同マルチロボットシステムにおけるSCARAロボットの軌跡が他のロボット占有象限の回りを180度以上回る場合の一例を示した説明図である。

【図9】同マルチロボットシステムにおけるSCARAロボットの第2関節が張り出した場合のロボット占有象限の変形を示す説明図である。

【図10】同マルチロボットシステムの全体構成を示す説明図である。

【図11】同マルチロボットシステムの制御部の構成を示す説明図である。

【図12】同マルチロボットシステムを構成する4台のSCARAロボットの共通の作業域及び各ロボット占有象限を示した説明図である。

【図13】同マルチロボットシステムの動作を表すフローチャートである。

【図14】同マルチロボットシステムにおける隣り合うロボット占有象限が重なる場合を示す説明図である。

【図15】同マルチロボットシステムにおける対角線上のロボット占有象限が重なる場合を示す説明図である。

【図16】従来の技術における多関節ロボットの斜視図である。

【図17】同多関節ロボットのシステム構成を示す概略説明図である。

【符号の説明】

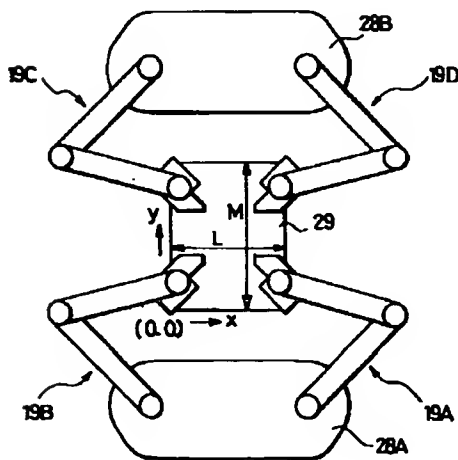
17

- 1 マルチロボットシステム
 2 入力部
 3 制御部
 4 機構部
 5 与点割付部
 6 読み取り部
 7 第1ロボット占有象限
 8 第2ロボット占有象限
 9 第3ロボット占有象限
 10 第4ロボット占有象限
 11 ロボット占有象限定義部
 13 衝突判定部
 15 移動距離計算部
 16 組み合わせ決定及び記憶部
 18 I/Oインターフェース
 19A、19B、19C、19D ロボット
 20A、20B、20C、20D 第1アーム
 21A、21B、21C、21D 回転軸
 22A、22B、22C、22D 駆動部
 23A、23B、23C、23D 第2アーム
 24A、24B、24C、24D 作業用ヘッド
 25A、25B、25C、25D サーボコントローラ
 26A、26B、26C、26D 第2関節
 27 第2アーム張り出し
 角度
 28A、28B 基台
 29 作業域
 30 入れ替わり/回り込
 み角度

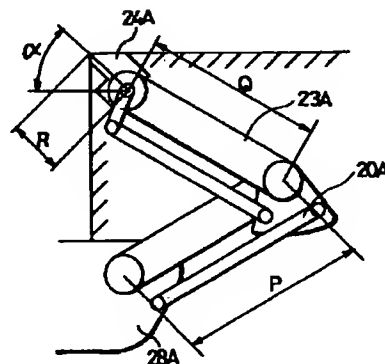
18

- 31、32 直線
 33A、33B、33C、33D 先端ピン
 34A、34B、34C、34D カメラ及びライト部
 50 基台部
 51A、51B、51C、51D アーム
 52A、52B、52C、52D 作業用ヘッド
 53 制御部
 54A、54B 第1回転モータ
 55A、55B、68 ギヤボックス
 10 56A、56B、56C、56D 第1アーム
 57A、57B、57C、57D 第2アーム
 58A、58B、58C、58D 回転軸
 59A、59B、59C、59D 先端ピン
 60A、60B、73 タイミングベルト
 61A、61B 第2回転モータ
 62 固定アーム
 63A、63B、64A、64B、65A、65B コ
 ンロッド
 66、75 ボス
 20 67 連結アーム
 69A、69B、70A、70B アームレバー
 71 駆動モータ
 72 アーリ
 74 取付ブロック
 76 回転レバー
 77、79 軸受け部
 78 回転伝達手段
 D 衝突点
 W クリアランス

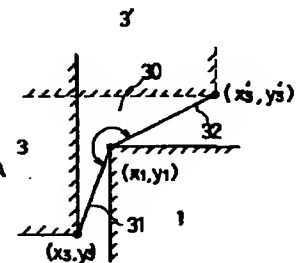
【図1】



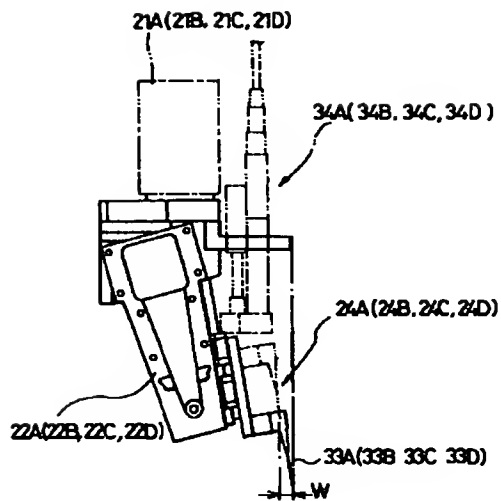
【図2】



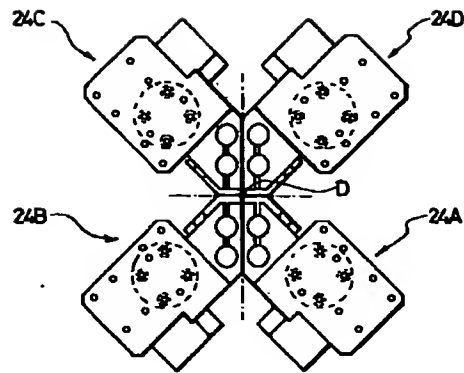
【図8】



【図3】



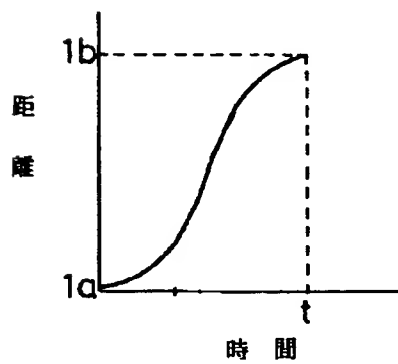
【図4】



【図5】

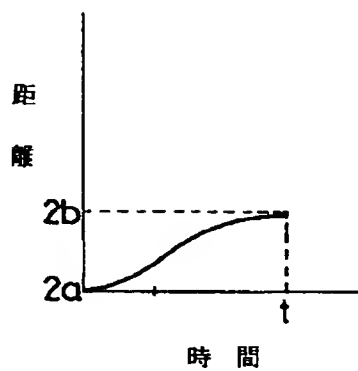
(A)

第1のロボット



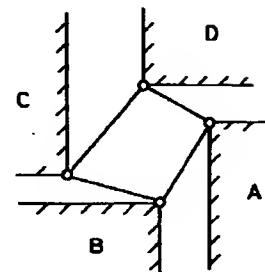
(B)

第2のロボット

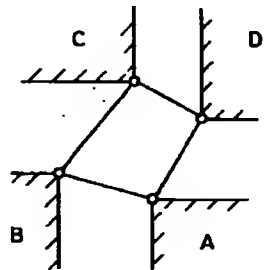


【図6】

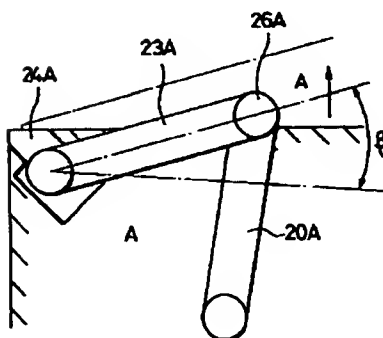
(A)



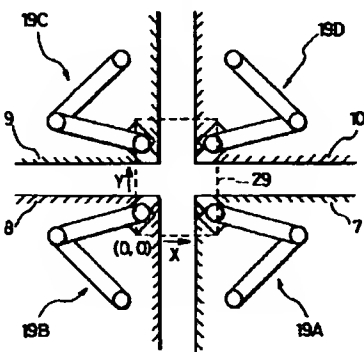
(B)



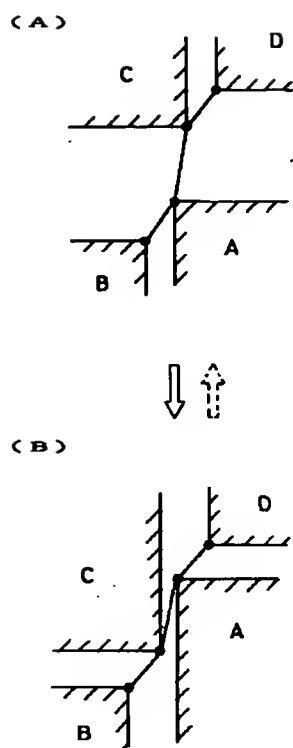
【図9】



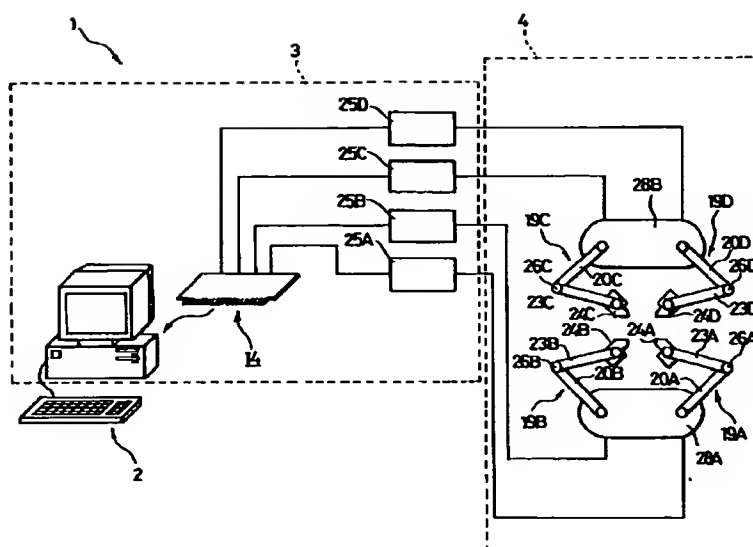
【図12】



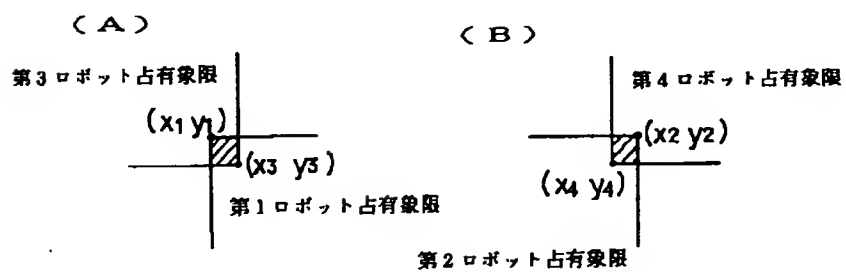
【図7】



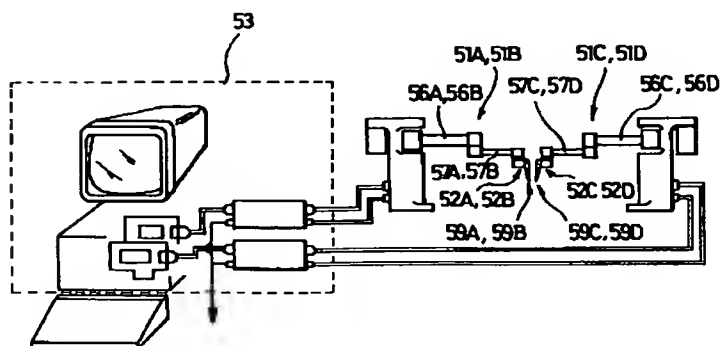
【図10】



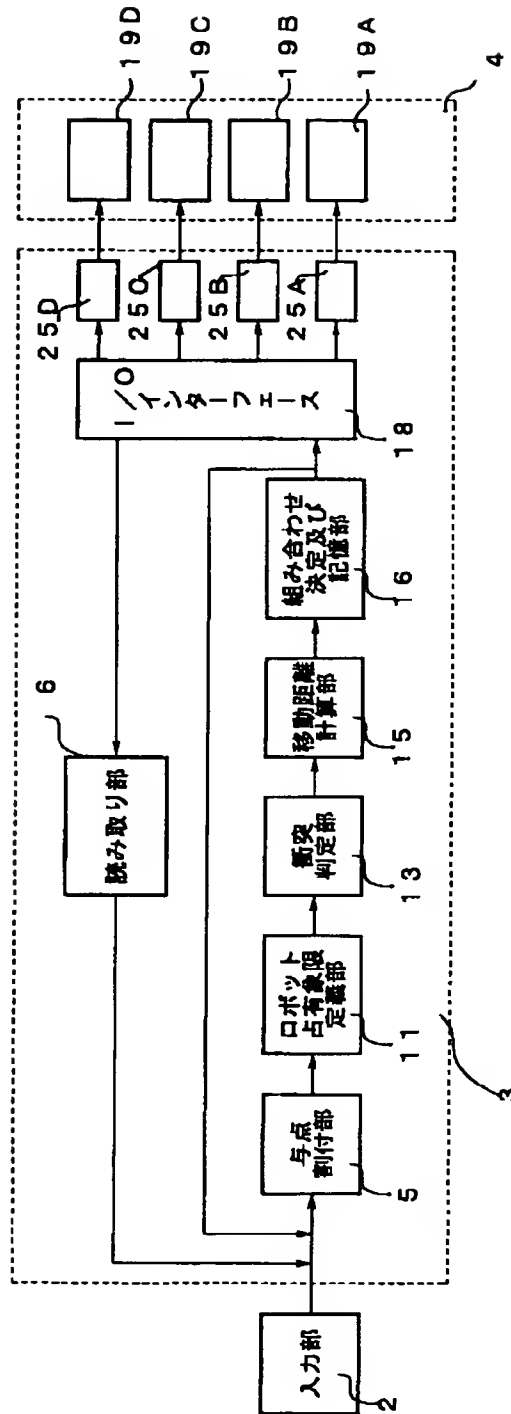
【図15】



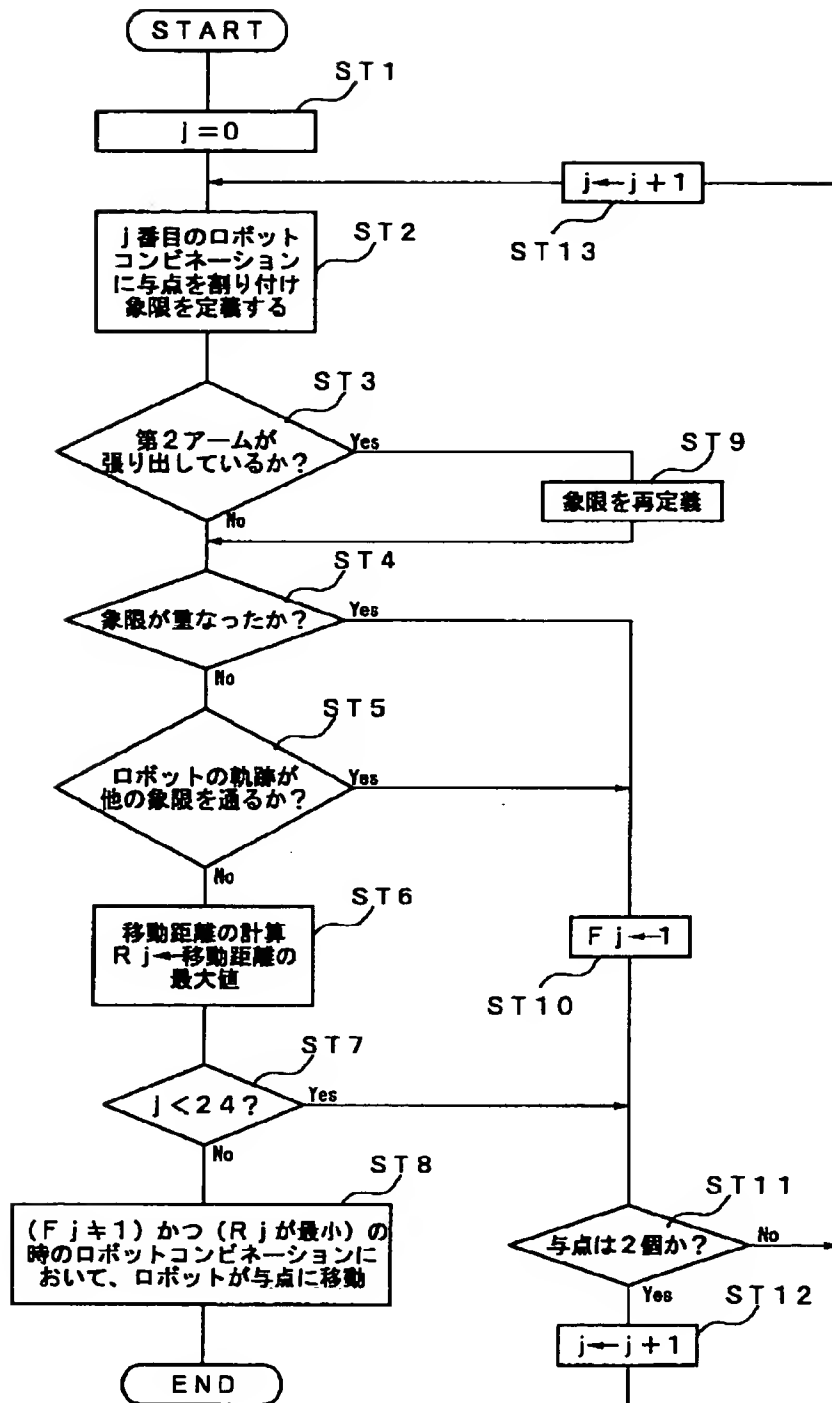
【図17】



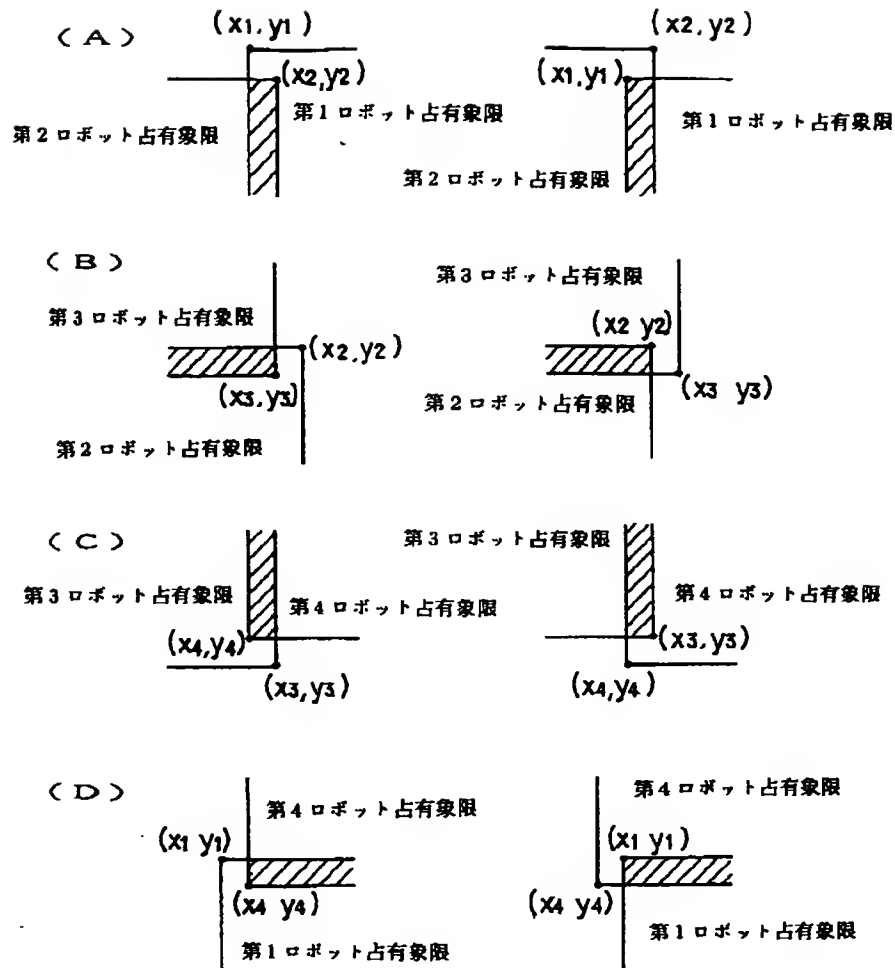
【図11】



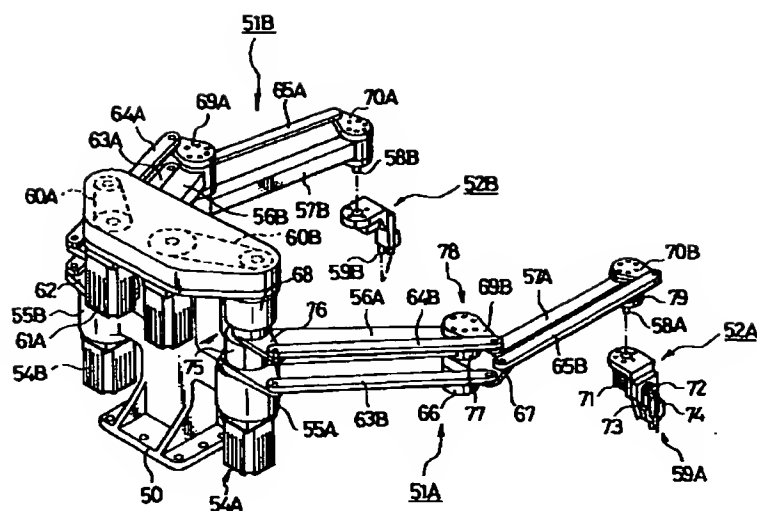
【図13】



【図14】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 中沢 東治
神奈川県相模原市田名3138-3 株式会社
テスコン内

PAT-NO: JP409094783A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09094783 A
TITLE: MULTI-ROBOT SYSTEM
PUBN-DATE: April 8, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

MAKINO, HIROSHI
TERADA, HIDETSUGU
KANEKO, SATOSHI
NAKAZAWA, TOJI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

KK TESCON

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP07253008

APPL-DATE: September 29, 1995

INT-CL (IPC): B25J013/00, B25J009/06 , B25J019/06

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent a mutual collision between movable parts in a robot by deciding a robot occupied quadrant including an arm and a working head while setting a present position or a motion position as a center and determining a collision condition between respective robots on the basis of the robot occupied quadrant.

SOLUTION: A robot, in which right hand group SCARA robots 19A, 19B are paired with left hand group SCARA robots 19C, 19D, is used,

and in a working area 29, a lateral dimension is L while a longitudinal dimension is M, and then, a working area home position (0, 0) is located on a of side of the left hand group robot 19B when the working area 29 is represented by the X-axis and the Y-axis. Respective working heads used for an inspection of a printed circuit board are movable freely, and if probe heads in the four corners point the same point, a collision will happen, however, if each of the respective robots is stored within each quadrant when the working area 29 is divided into four quadrants while using the pointed point as a home position under this condition, it is determined that the four robots do not interfere with each other because each point pin has a clearance.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO